Расширенное пространство.

Кванты пространства

Наше пространство определяется гравитационными полями. Если говорить упрощенно, материальные объекты и/или огромные энергии образуют гравитационные поля, ту арену на которой живут Галактики, звезды, планеты и где начинают работать физические Законы нашего Мира. И галактики и законы наблюдаются в макроскопических размерах, а для их описания мы используем привычные архимедовые метрики, как, например, в Общей Теории Относительности. На гравитационных полях также «живут» и оставшиеся взаимодействия со своими полями – электромагнитными, слабыми и сильными. По сути дела «наш» мир это гравитационное поле и вся остальная материя и остальные взаимодействия это колебаний разных частей этого поля.

В микромире, на “планковских” масштабах пространство начинает проявлять свою квантовую сущность. Идея квантов пространства наиболее полно описывается теорией петлевой квантовой гравитации (ПКГ) успешно развиваемой К. Ровелли и К^0. Проводя аналогию между электромагнитным и гравитационным полем, он пишет «..ключевое различие между фотонами (квантами электромагнитного поля) и …квантами гравитации состоит в том, что фотоны существуют в пространстве, тогда как кванты гравитации представляют собой само пространство. Фотоны характеризуются местом, «где они находятся». Кванты пространства не имеют места, где они могут находиться, поскольку они сами являются местом ».

Сам Ровелли с осторожностью относится к кванту пространства, например, в качестве кванта приводится fuzzy-обьект, (рисунок 1) без всякой деталировки. Вместо этого вводится аналог силовых линий в виде спиновых сетей с узлами на квантах и определяя квантовые операторы в гильбертовом пространстве от площадей и объемов через переменные Аштекара, строится геометрия дискретного квантового пространства и его гравитационные искривления*.

Основная задумка К. Ровелли и К^0 проста и сводится к двум последовательным вещам, сначала вводятся кванты пространства, спин-сети и спин пена, затем определяются уравнения Эйнштейна и уравнения Шредингера в новом формализме, с надеждой что теперь ОТО и квантовая физика уживутся вместе.

1. **Дискретность пространства-времени, спин-сети и спин-пена:** В теории петлевой квантовой гравитации геометрия

пространства квантуется, поэтому операторы, такие как площадь и объем, обзаводятся дискретными спектрами значений в терминах переменных Аштекера. Например, $8\pi\gamma l_p^2$ является минимальной площадью, а минимальным объемом будет величина

$$V_{\min} = \frac{\gamma l_P^3 \sqrt{3}}{2}$$

где γ — параметр Барберо-Иммирци, а l_p планковская длина.

.

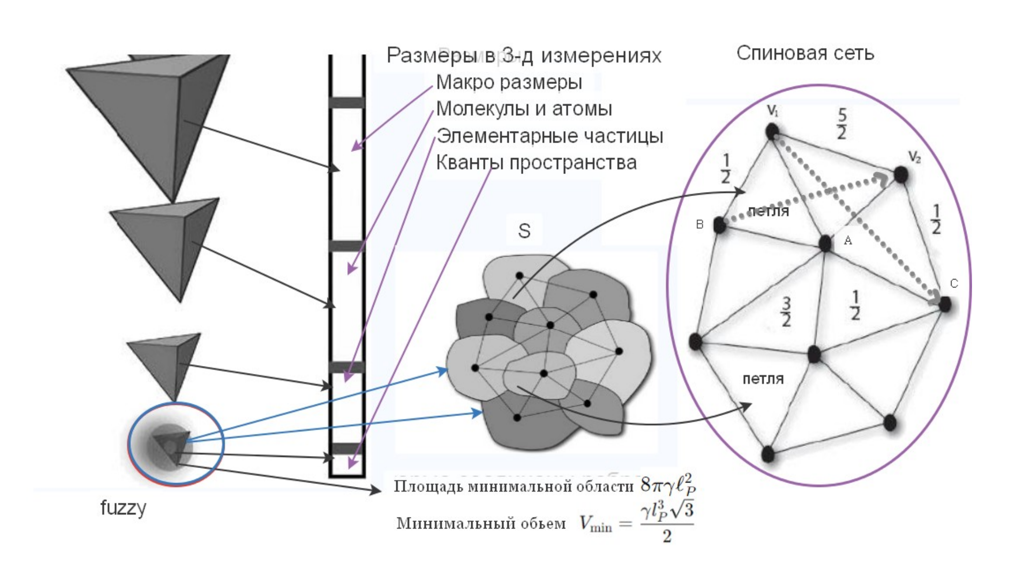


Рисунок 1

Рисунок дает представление о квантовой структуре пространства, спиновой сети, дискретном спектре площадей и объемов и о спиновых числах j(1/2,3/2,5/2…), ассоциированных с ребрами спин сети. Спин-сеть (правая часть рисунка) представляет собой граф из узлов и рёбер, где рёбра помечены спиновыми числами, соответствующими представлениям группы SU(2), а узлы связаны этими рёбрами и характеризуются соответственно объемами v_1 (тетраэдр V_1V_2AB), V_2(тетраэдр V_2V_1AC),….**. По сути дела квантование пространства в ПКГ это обычная триангуляция, хотя фактически спин-сети описывают квантовые состояния геометрии пространства. Для этого вводится понятие петли, замкнутого контура, охватывающего рассматриваемую область. Понятие петли ключевое в данной теории. Не смотря на простоту определения и интуитивную геометрическую интерпретацию, она несет глубокое внутреннее содержание и является основным конструктом. В этом смысле она похожа на струну в одноименной теории, но петле не требуется непрерывный, да и вообще любой задний фон в виде несущего пространство. В ПКГ петли цепляясь друг за друга сами

образуют ткань пространства, одновременно представляя локальный базис .

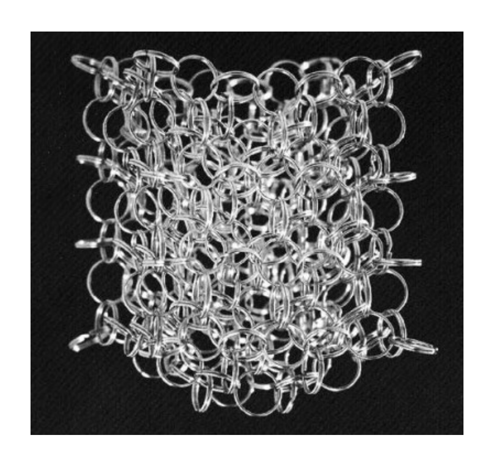


Рисунок 2

Именно поэтому, кванты пространства сами по себе перестают играть особую роль, вся теория начинает фокусироваться на петлях, на их сочетаниях, на геометрии и топологии петлевого пространства. На рисунке 2 кольчужные кольца входят в зацепления, в ПКГ петли представляют замкнутый путь последовательных ребер, которые пересекаются в вершинах спиновой сети. И в первом и втором случае математики углядят в них Бэровские худые множества. Это означает, что не смотря ни на какие ухищрения и лазейки, сами петли не позволят построить ни меру, ни компакты, ни функциональные интегралы. Основатели теории ловко уходят от этих вопросов, вводя и площади и объемы через прямые произведения планковских длин соответственно $l_p \mathbf{x}\ l_p = l_p^2$ и $l_p \mathbf{x}\ l_p \mathbf{x}\ l_p = l_p^3$ используя архимедову метрику, оставляя вопросы ее введения и проблемы с размерностями открытыми. Как же фактически решается эти проблемы? Частично с помощью спин-пены, частично с помощью плотности в переменных Аштекара, частично понятиями, привнесенными из уравнений Эйнштейна и Шредингера, но об этом дальше. А пока все творцы ПКГ, вводя спиновые сети на рисунке 1 «держат» в уме и левую и центральную часть рисунка. Итак, введение петель описывает квантовое состояние области-пространства, которое окружено набором петель или попросту спин-сетью. Чем гуще в области сеть, тем большее искривление пространства зафиксируется переменными Аштекера.

Спин-пены представляют собой 4-мерные структуры, описывающие эволюцию 3-х мерных спин-сеток во времени. Спин-пена, связывает начальное и конечное состояние ячеек спин-сети через двумерные поверхности, «образуя» систему призменно-пирамидальных симплексов (рисунок 2), и используется для описания динамики квантового гравитационного поля.

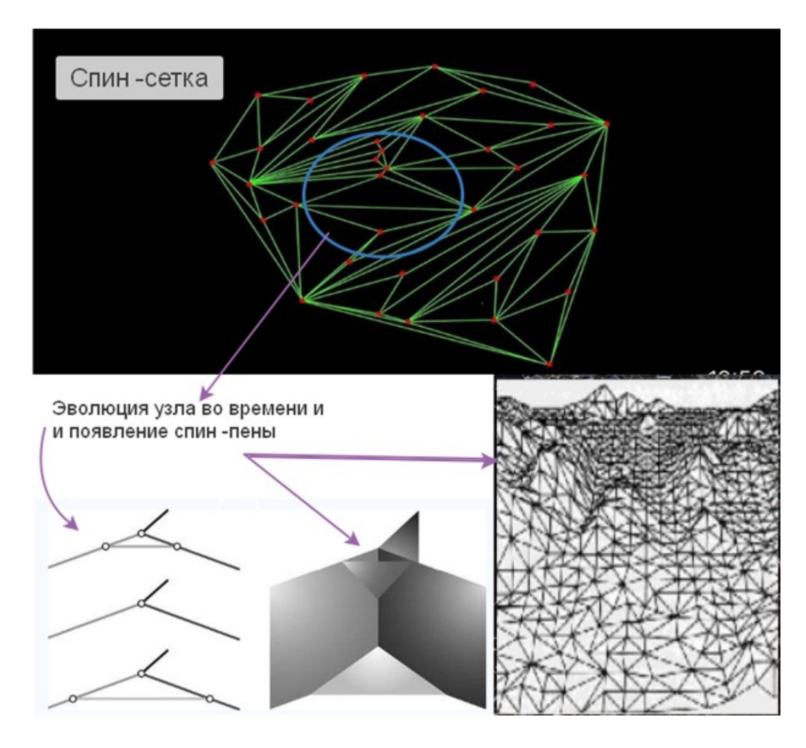


Рисунок 2

Спин-пена представляет аналог 4-х мерного пространства времени в теории Эйнштейна. Проведя аппроксимацию непрерывного пространства с помощью спин-сети, в ПТК с помощью спин-пены реализуется аналог пространственно-временного интервала из ОТО, причем «ответственным» за эволюцию узлов (нижняя левая часть рис. 3) «назначаются» квантовые флуктуации. В понятии спин-пены важным вопросом является проблема времени. Первые уравнения, полученные основателями еще не сложившейся теории Уиллером и Девиттом привели всех в шок, они не содержали переменной, обозначающей время. Но решениями этих уравнений оказались нашей петли. Пе́тли долго не хотели рождать что то путное, пока не были введены ребра и вершины. Круг (а фактически петли) замкнулись и время стало изгоем в теории. В одном из ранних постов говорилось, как и чем заменяется время, не будем останавливаться на этом здесь. Заметим только, что Ровелли, скрепя сердцем ввел квантовое время в спин-пену, замаскировав его вероятностными характеристиками: случайностью возникновения флуктуаций и Феймановским суммированием по всем путям между начальным и конечным состоянием самой спин-сети , что в конце – концов привело к истории спиновых сетей. Вопрос с историей самый сомнительный во всей теории. Это связано с тем, что фундаментальные ограничения, подсказанные нам природой приведены в таблице, и они должны использоваться в качестве основных постулатов.

Физическая величина	Фундаментальная постоянная	Теория	Открытие
Скорость	c	Специальная теория относительности	Существует максимальная скорость
Информация (действие)	$\hbar$	Квантовая механика	Существует минимальная порция информации
Длина	l_p	Квантовая гравитация	Существует минимальная длина

Время, как мы видим, в эту таблицу не входят.

2. Петлевая квантовая гравитация, или петлевая теория, объединяет общую теорию относительности с квантовой механикой, она не вводит никаких других гипотез, кроме тех, которые содержатся в самих этих теориях, записывая их в совместимой для себя форме. Для этого ПТГ использует специальные переменные Аштекара - аналоги метрики и символов Кристофеля-Шварца в тензорах Риччи, а также квантовые постулаты присущие ОТО в виде констрейнтов:

1. Гауссовы констрейнты возникают из симметрий внутренней калибровочной группы (обычно SU(2)) в трёхмерной формулировке гравитации. Они обеспечивают локальную инвариантность теории относительно калибровочных преобразований, то есть обеспечивают сохранение внутренних калибровочных зарядов. Смысл этой инвариантости состоит в том, что в квантовых полях становится возможным определять переносчиков взаимодействий, другими словами бозоны: фотоны, глюоны и т.д.
2. Диффеоморфизные констрейнты обеспечивают инвариантность теории относительно пространственно-временных преобразований – трансляций и вращений. Смысл этой инвариантности состоит в том , что физические законы одинаковы в любой области нашего пространства.
3. Гамильтонианый констрейнт, записанный в терминах квантованных переменных Аштекара содержит информацию о материи , её взаимодействии с гравитацией, и по сути дела является аналогом уравнения Эйнштейна.

Заметим, что квантовые констрейнты переходят в классические констрейнты в пределе больших квантовых чисел, восстанавливая уравнения Эйнштейна в макромире, а классическая геометрия извлекается через собственные значения операторов площадей и объемов. А как реализуется непрерывность и гладкость пространства. Вот тут на помощь приходят квантовые флуктуации. Запакованная в пакеты из спин-пены, быстрая череда рождений и исчезновений тетраэдных симплексов заметает объемы в пакете, что в больших числах формирует представление непрерывного трехмерного пространства. Поставьте монету ребром и раскрутите ее, никто издалека и не различит настоящий это шар или быстро.

*Заканчивая рассмотрение отметим, что некоторые важные особенности при построении теории ПКГ ускользнули от разработчиков ***). Тем не менее, в предыдущем посту используя кванты пространства удалось по новому объяснить квантово-волновой дуализм избегая уродливой копенгагенской интерпретации. Кроме того предложен детерминистический подход к интерпретации движения элементарных частиц в пространстве, опять же основываясь на квантах пространства.*

Ультраметрический сосед

Итак, в квантовых масштабах наш мир начинает меняться. Он начинает соприкасаться с ультраметрическим пространством, которым он насквозь пронизан. В первом посте о пространстве приводились определенные доводы о присутствии такого странного соседа в нашем мире. здравому смыслу, Наш здравый смысл воспитан на архимедовой метрике и евклидовой геометрии, поэтому свойства ультра метрики кажутся невероятными, ошеломительными, противоречивыми. Даже здесь можно найти с десяток статей о p-адичных числах и ультраметрическом пространстве, ниже будут приведены ссылки на них, поэтому на определениях и свойствах останавливаться не будем. Попробуем обосновать наши доводы, отвечая на некоторые риторические вопросы

Почему именно ультраметрическое пространство, а не иное, с обычной метрикой?

В микромире деградирует монолитное, цельное пространство с непрерывной метрикой, и достаточно гладкими (регулярными) законами. Силовые линии, образующие каркас - структуру пространства, начинают безжалостно деформироваться , рваться, закручиваться в бесконечные спирали, или циклы, наподобие странных аттракторов. В наше пространство начинают врываться потоки энергий, реализуясь в виде виртуальных частиц, которые поставляются ультраметрическим пространством. При рассмотрении “планковских” масштабов теряется возможности «работать» как с малыми областями пространства в целом , так и с микро объектами подобных размеров в силу не изменчивости (время отсутствует) и неопределенности (отсутствуют свойства привычного пространства, позволяющие фиксировать координаты этого объекта). На этих масштабах работает принцип неопределенности Гейзенберга. Обычно этот принцип объясняют тем, что вмешательство прибора измерения, существенно влияет на сам измеряемый процесс, поэтому нельзя одновременно выяснить координаты элементарных частиц и их скорости(точнее импульсы). На дело не в точности и грубости приборов измерения, как

принято говорить сейчас. Теряются метрики и смысл измеряемых параметров. Области пространства превращаются в сети с квантами пространства в качестве узлов и связывающими их гравитационными силовыми линиями. Что более существенно меняется и геометрия и тем более топология пространства. Областями-дырками испещрено все наше пространство, наш мир всюду разрывной в каждой своей «планковской» области. Образно эта картина представляется в виде композиции пограничных слоёв, разделяющим пространство нашего мира с архимедовой метрикой и ультраметрическое пространство с не архимедовой метрикой. «Планковские» масштабы - это области квантовых явлений и размеров, спиновых сетей с квантами пространства в узлах, и процессами , идущих в ультраметрическом пространстве и управляющими поведением квантовых явлений, в том числе появлением квантовых флуктуаций и виртуальных частиц в нашем мире.

А) На масштабах больше «планковских», суперпозиции множества гравитационных полей, становятся достаточно регулярными, устойчивыми и гладкими, что обеспечивает существование устойчивых макроструктур и их эволюционное развитие.

Наш макромир это гравитационные поля, и пространство, которое они образуют, пространство с архимедовой метрикой.

Б) Сеть с дырками между гравитонами это пограничные области между гравитационными полями и ультраметрическим пространством и математические выкладки показывают, что этими областями служат фрактальные пространства (ковер Серпинского, кладбище Серпинского, снежинка Вишека и тд).

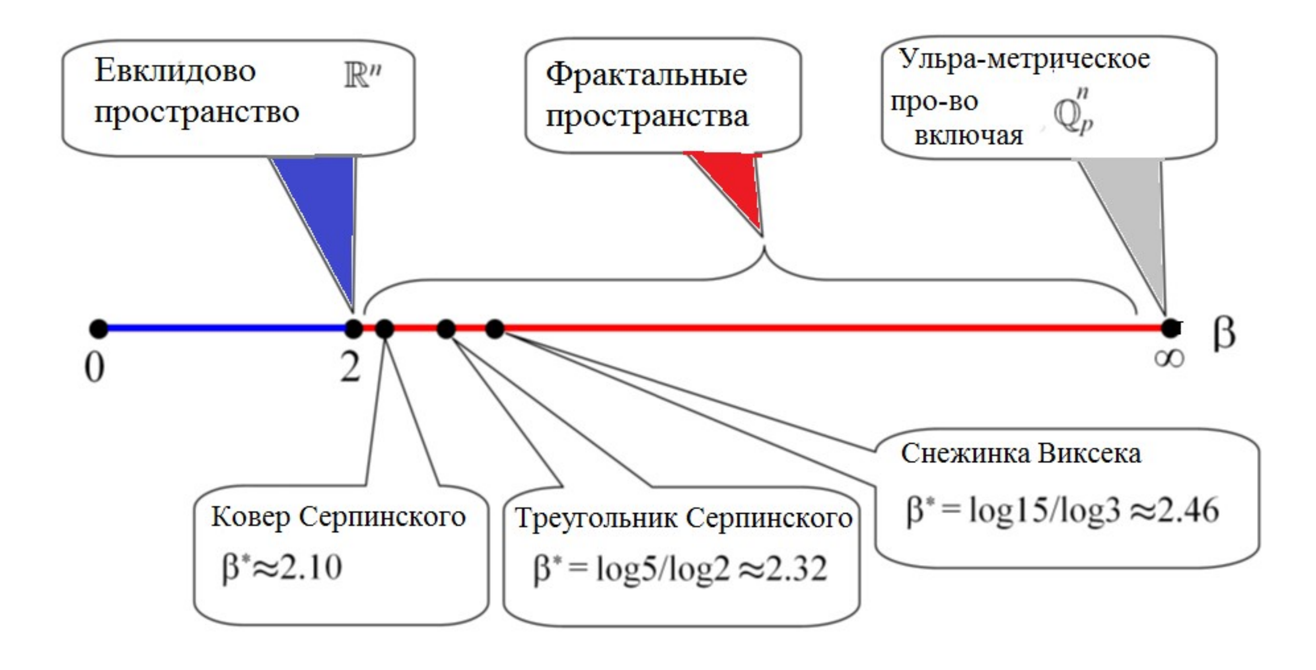
Фрактальные пространства оставляют свои следы в виде фрактальных множеств в ультраметрических пространствах и в виде возмущений гравитационных волн и «дефектов» гравитационного поля в макромире.

С) Ультраметрическое пространство – это арена квантовых взаимодействий, по сути дела являющееся обобщением вакуума Дирака.

Данное вступление является скорее всего описательной картиной дальнейшего изложения.

Дотошный читатель сразу спросит об у

Наглядно можно продемонстрировать картину этой модели следующим образом: метрика, характеризующая геометрию пространства, является переменной величиной. Метрика зависит от размеров областей, к которой она применяется, и при изменении этих размеров она эволюционирует:



где величина β обратно пропорциональна диаметру рассматриваемой области пространства.

Принцип сохранения информации, которая считалась потерянной при захвате черной дырой и дальнейшим испарением последней, реализуется следующим образом. Черные дыра, описывается фрактальной размерностью на показанной шкале, поэтому захваченная ей информация аппроксимируется в виде набора чисел $\beta_i = \log n / \log m$, расположенных на указанной шкале и данными, поставляемыми самим фракталом и процессом фрактальной архивации.

Предложенная модель содержит все три компоненты из приведенной выше таблицы:

1.Скорость. Это первый член уравнения Лапласа, которое мы используем для описания вероятностных процессов свертывания черных дыр, для построения вышеуказанной шкалы изменения метрики

и для расчета уменьшающейся плотности расширяющейся Вселенной (с помощью плотности распределения соответствующего jump kernel):

$V - \Delta u = 0$, (где $V=\partial u/\partial t$),

2.Планковская длина – диаметр области, характеризующий фрактальное пространство:

$$\ell_P = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}},$$

где:

$\hbar$ — постоянная Дирака ($h/(2\pi)$), где h — постоянная Планка

G — гравитационная постоянная,

c — скорость света в вакууме.

С точностью до числового множителя, такая комбинация единственна, поэтому она считается естественной единицей длины. планковская длина равна[1]

$$\ell_P = 1,616225(18) \cdot 10^{-35} \text{ м.}$$

3. Квант информации β (информация, попавшая в черную дыру, аппроксимируется набором { β_1 , β_2 ,….}, где $\beta_i = \log n / \log m$ являются точками метрической шкалы. (согласно Шеннону информация выражается через логарифмы)

Аналогии дающее представление о модели.

Приведем две аналогий для понимания представленной модели.

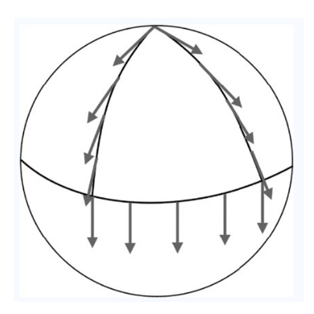
1.Представьте себе рыбацкую сеть , которой перегородили реку. Основной поток воды проходит сквозь ячейки сети, но часть его взаимодействует с петлями сети, заставляя сеть вибрировать, растягиваться или сжиматься. Точно также в планковских масштабах вибрирует спиновая сеть от взаимодействий с ультраметрическим пространством как вплеска энергии , что проявляется в рождении виртуальных частиц. Деформаци пространства, порождаемыми микроскопическими черными дырами, в обратном направлении в свою очередь взаимодействуют с ультраметрическом пространством, которое выступает качестве «потока» реки.

2. Поток воды находится в движении (например в бассейне). Лучи света, пронизывающие толщу потока, образуют игру теней на дне бассейна в виде пятен.

Пятна меняют форму , расходятся, наоборот сливаются в зависимости от формы волн на поверхности потока в целом напоминая картину

флуктуационной пены . С другой стороны камни, лежащие на дне бассейна, могут образовывать устойчивые конфигурации в виде стоячих волн на поверхности потока (поток перетекает через камень на дне, образуя устойчивый бугорок). Пример демонстрирует основные элементы модели. Поверхность потока выступает аналогом гравитационного пространства с всевозможными деформациями и волнами, образующие завихрения в виде ворон, собирая в них плавающий мусор (Галактики). Толща потока это пограничное фрактальное пространство, позволяющее передавать взаимодействия как от поверхности потока ко дну бассейна (игра теней на дне), так и в обратную сторону (влияние камней на форму волн поверхности). Дно бассейна в этом примере аналог ультраметрического пространства, причем геометрии и способы передачи взаимодействий у каждого из трех «пространств» различные.

***)** *Поясним идею с помощью которой определяется искривление дискретного квантового пространства. Представьте себе, что вы находитесь на Северном полюсе и идете на юг, пока не достигнете экватора. При этом вы несете с собой стрелку, которая показывает вперед. Дойдя до экватора, вы поворачиваете налево, не меняя направление стрелки. Она по-прежнему показывает на юг, который теперь находится для вас справа. Пройдите немного на восток вдоль экватора, а затем поверните обратно на север, опять не меняя направление стрелки, которая теперь будет показывать назад.*



Когда вы вернетесь на Северный полюс, ваш маршрут замкнется, образовав петлю, но стрелка уже не будет показывать в том же направлении, что и при старте (рис. 3). Угол, на который повернулась стрелка при обходе петли, служит мерой кривизны данного пространства.

В теории ПКГ мы суммируем все петли в области , для которой мы хотим определить искривление, выбирая спин-сеть (рисунок 1), представляющей квантовое состояние геометрии данной области и ее эволюцию с помощью спин пены, учитывая квантовые констрейнты. Тогда окончательно кривизна выразится через производные от коннекции Аштекара:

$$F_{ij}^{a} = \partial_i A_j^a - \partial_j A_i^a + \epsilon^{abc} A_i^b A_j^c.$$

***)*

Оператор площади:

$$\hat{A}_S = 8\pi\gamma\ell_p^2 \sum_i \sqrt{j_i(j_i+1)},$$

где ℓ_p — планковская длина, j_i — спиновое число, соответствующее ребру, пересекающему поверхность S.

Оператор объёма:

$$\hat{V}_R = \ell_p^3 \sum_v \sqrt{\left| \frac{1}{6} \sum_{i,j,k} \epsilon^{ijk} \epsilon_{abc} E_i^a E_j^b E_k^c \right|},$$

где сумма берётся по всем узлам v внутри региона R, а E_i^a — плотность триады.

****) принцип Ферма, минимальные пленочные поверхности на петлях (когда контур не плоский), метод конечного элемента и барицентрические координаты*

